

〈特集〉

フロックセンサを用いた凝集不良の早期検知

田中由香, 久本祐資, 山口太秀

メタウォーター(株)

(〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 E-mail: tanaka-yuka@metawater.co.jp)

概要

浄水場の急速ろ過システムにおいて、凝集剤の注入率不足や機器故障による凝集不良を検知する手段は一般的にフロック形成池の巡回による目視と沈澱水濁度の計測値による確認である。この場合、沈澱池までの滞留時間経過後、つまり凝集不良発生から数時間後に異常に気付くことになる。そこで本研究では、吸光度の平均値と標準偏差によりフロックの粒径を測定できるフロックセンサを用いて、凝集不良の早期検知について検討した。その結果、フロック形成池の1段目と2段目に設置したフロックセンサから得た粒径値を用いて、凝集剤不足やpH適正範囲からの逸脱等に起因する凝集不良を早期に検知できることが示された。

キーワード：凝集，異常検知，フロック粒径，急速ろ過，フロック形成池

原稿受付 2016.4.28

EICA: 21(1) 15-18

1. はじめに

国内の浄水場において、1700ヵ所もの浄水場にて採用されている急速ろ過方式は、計画浄水量の約80%を占めている代表的な浄水処理方式である¹⁾。

急速ろ過方式とは、凝集、沈澱、ろ過のプロセスで構成されており、緩速ろ過方式と比較して面積当たりの処理能力が高い点が特長とされている。フロキュレーターを用いた一般的な急速ろ過方式では、原水へ凝集剤が注入された後、槽内において適切な強度と時間で攪拌することで形成されたフロックを成長させる。成長したフロックを沈澱池において、水を静かに流すことで沈澱させる。最後に上澄み水をろ過池の砂層に導入して残ったフロックを取り除く。それゆえ、凝集からフロック形成の段階で、後段の沈澱ないし、ろ過の過程でほぼ完全に分離できるサイズのフロックを形成させておく必要がある。

近年、ゲリラ豪雨が頻発するようになり、浄水場において正常な凝集処理が行えずに処理水濁度が大きく上昇する事例が発生している。中には、北海道(平成19年)や山形県(平成25年)のように大規模な断水事故に繋がった例もあり、このような実態から凝集不良を早期段階で検知して、適切な対処を行うことが可能なシステムの開発は安心安全な水を供給するためへの大きな課題であると言える。現在、浄水場における凝集剤の注入不足や機器の故障に起因する凝集不良は、フロック形成池の巡回員による目視確認や沈澱水濁度の計測値によって確認されている。沈澱水濁度の測定値によって凝集不良を検知する場合には、凝集剤注入

から沈澱池までの滞留時間分、つまり凝集不良の発生から数時間遅れて気付いてしまうことになる。

そこで、本研究では、実験プラント及び実施設にフロックの粒径を連続測定できるフロックセンサを設置して、凝集不良を簡便に、早期に発見する方法について検討した。フロックセンサの概要と実験結果について以下に報告する。

2. フロックセンサの概要

フロックセンサは、赤外LED、フォトダイオード、及び電子回路により構成され、LED光が照射された検出部を通過したフロックの粒径測定が可能である(**Fig. 1**)。水中に浸漬させた検出部をフロック粒子が通過するとき、検出部から出力されている赤外光は一度遮断されるために光強度が減衰、つまり吸光度が上昇する。このとき、通過する粒子の数は一定数ではない故に変動するため、ゆらぎ成分が発生する。このゆらぎ成分と透過光強度とからフロック粒径が式(1)によって演算される(吸光度変動解析法²⁾)。ここで、 d は平均粒径、 E は平均吸光度、 E_{rms} は吸光度の標準偏差、 A は光路断面積、 Q は光散乱係数である。

$$d = \left(\frac{4AE_{rms}^2}{\pi QE} \right)^{0.5} \quad \text{式(1)}$$

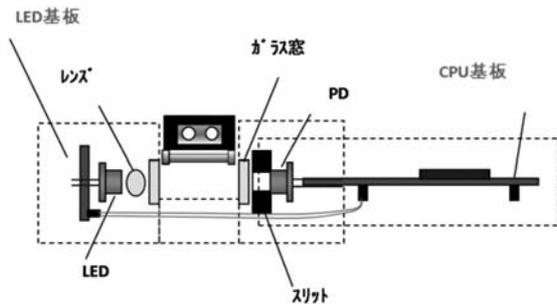


Fig. 1 Structure of the detector

3. 実験プラントにおける検証

3.1 実験プラントの概要

A 浄水場に設置した実験プラントを用いて検証を行った。原水は、A 浄水場の取水した原水を分岐して実験プラントに導水した。導水した原水は着水井に入り、薬品混和池にて凝集剤 (PAC) が注入される。フロック形成池 3 段のうち、1 段目と 2 段目の槽にフロックセンサを設置し、フロック粒径を 1 分毎に連続測定した。同プラントの諸元、水理条件を **Table 1** に示す。フロック形成槽各段の緩速攪拌 GT 値については、浄水場と等しくなるように設定した。**Table 1** の GT 値はいずれも水温 10℃ におけるものである。

Table 1 Condition of the experimental plant

原水流量		1.3 L/min
薬品混和池 (急速攪拌槽)	回転数	177.7 rpm
	攪拌 GT 値	33500
	滞留時間	3.8 min
第一緩速攪拌槽	回転数	27.3 rpm
	攪拌 GT 値	36100
	滞留時間	12.7 min
第二緩速攪拌槽	回転数	17.2 rpm
	攪拌 GT 値	18000
	滞留時間	12.7 min
第三緩速攪拌槽	回転数	10.6 rpm
	攪拌 GT 値	8730
	滞留時間	12.7 min
緩速攪拌槽	総 GT 値	62800
沈殿処理槽	滞留時間	78.6 min
	傾斜板表面負荷	4 mm/min
ろ過流量		0.94 L/min
ろ過 LV		120 m/d

3.2 実験手順

(1) PAC の注入不足に起因する凝集不良の検知 (低濁度原水)

2014 年 2 月 8 日 10 時に PAC 注入率を 30 mg/L から 5 mg/L に変更し 4 時間運転した。その後 15, 20 mg/L に 2 時間毎に変更し、沈澱水濁度とフロック粒径とを測定した。その際、凝集 pH (混和池における

pH) は 6.8 に設定した。原水濁度は 1.9 度、水温は 0.7℃ であった。

(2) 凝集 pH の不適正に起因する凝集不良の検知

2013 年 11 月 14 日に凝集 pH を 6.8 から適正範囲外の 8.0 に変更して、沈澱水濁度とフロック粒径とを測定した。その際の PAC 注入率は 40 mg/L に設定した。また、原水濁度 1.9 ± 0.1 度、水温は 4.3 ± 0.1 ℃ であった。

3.3 実験結果

(1) PAC の注入不足に起因する凝集不良の検知

PAC 注入率を 30 mg/L から 5 mg/L に変更した際の沈澱水濁度とフロック粒径との経時変化を **Fig. 2** に示す。沈澱水濁度は注入率を低下させてから 60 分後に上昇し始め、注入率変更 75 分後に 1.5 度、120 分後に 2 度を越えた。一方、フロック粒径は、フロック形成池 1 段目と 2 段目のいずれにおいても、注入率低下直後に減少し始め、注入率低下から 30 分以内に粒径が 3 分の 2 以下に減少した。(フロック形成池 1 段目 $74 \mu\text{m} \rightarrow 49 \mu\text{m}$, 2 段目 $160 \mu\text{m} \rightarrow 93 \mu\text{m}$) またフロック形成槽 2 段目のフロック粒径の減少速度は、沈澱水濁度の上昇速度に比べて大きかった。つまり、フロック形成池のフロック粒径で凝集不良を判断する方法は、沈澱水濁度の上昇を早期に検知する有効な方法であることが分かった。注入率を変更させた際の沈澱水濁度を **Table 2** に示す。フロック粒径は 1 段目と 2 段目のいずれにおいても、注入率の上昇に伴い増加した。一方、粒径比 (2 段目のフロック粒径/1 段目のフロック

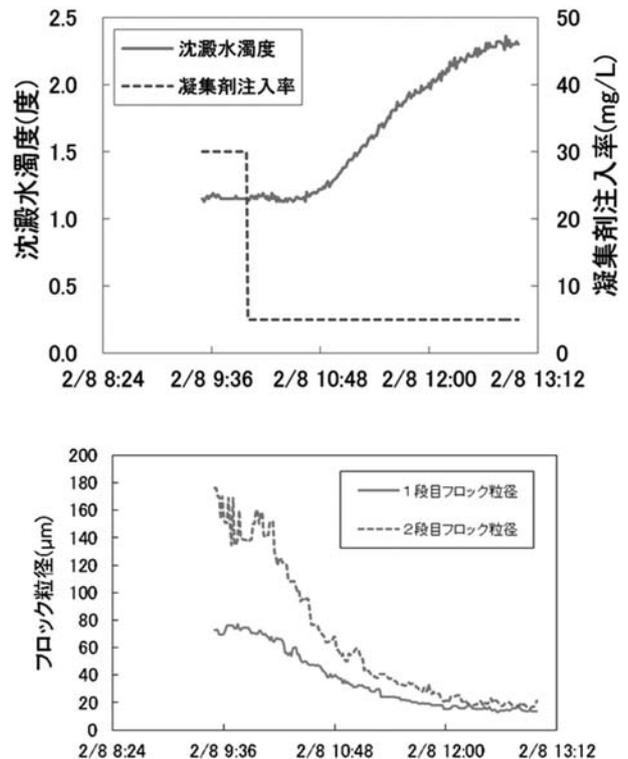


Fig. 2 Temporal change of floc size and turbidity of settled water

Table 2 Floc size and turbidity of settled water (Turbidity of raw water : 1.9 degree)

注入率 (mg/L)	フロク粒径 1段目 (μm)	フロク粒径 2段目 (μm)	フロク粒径比 2段目/1段目	沈澱水濁度 (度)
5	15	20	1.4	2.29
15	49	86	1.8	1.82
20	61	106	1.7	1.42
30	74	112	1.5	1.16

粒径) に関しては, PAC 注入率が 5 mg/L においても 1.4 となっており, 凝集剤の注入不足による凝集不良については粒径比からは検知しにくいことが分かった。

(2) 凝集 pH の不適正に起因する凝集不良の検知

原水濁度 1.9 度, 注入率 40 mg/L において, 凝集 pH を 6.8 から 8.0 に変更した際のフロク粒径を Fig. 3, 沈澱水濁度を Table 3 に示す。凝集 pH を 8.0 に上昇させると, 沈澱水濁度は 0.92 度から 1.65 度上昇した。すなわち, 凝集不良が生じたこととなるが, フロク形成池 1 段目のフロク粒径には, 大きな変化が見られなかった。それに対して, 2 段目のフロク粒径は 119 から 73 μm に低下し, 1 段目より小さくなった。

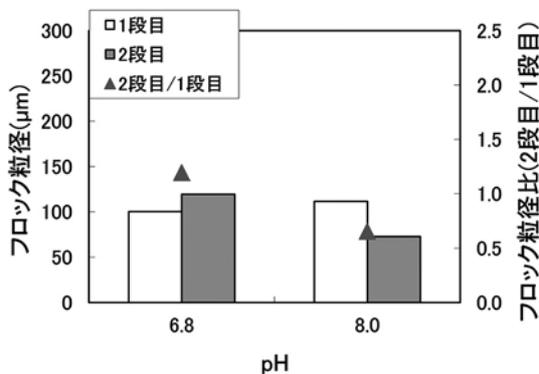


Fig. 3 Floc size and ratio of floc size (pH: 6.8 and 8.0)

Table 3 Floc size and turbidity of settled water (pH: 6.8 and 8.0)

pH	フロク粒径 1段目 (μm)	フロク粒径 2段目 (μm)	フロク粒径比 2段目/1段目	沈澱水濁度 (度)
6.8	100	119	1.19	0.92
8.0	112	73	0.65	1.65

このことは, pH が適正範囲外になると, フロクの強度が低くなることを示しており, フロク形成池の 1 段目だけではなく, 2 段目と 1 段目との粒径比を把握することが, pH の不適正に起因する凝集不良を

検知する上で有効と考えられる。

4. 実施設による実証実験

4.1 浄水場の概要

2015 年 7 月上旬より約半年間, フロクセンサを B 浄水場のフロク形成池に浸漬させて連続測定を行った。B 浄水場は急速ろ過システムによる処理を行っており, 1 日当たりの最大給水量は約 38,000 m³ である。B 浄水場の処理フロー及びフロクセンサの設置位置を Fig. 4 に示す。原水は混和池にて凝集剤 (PAC) 注入後, フロク形成池, 沈澱池, ろ過池で処理される。フロクセンサはフロク形成池, 1 段目と 2 段目に設置して, データの連続取得を行った。

4.2 実証実験の結果

設置から約 2 カ月が経過した 9 月 7 日から 15 日までの原水濁度と凝集剤注入率を Fig. 5 に, フロク粒径と沈澱水濁度のグラフを Fig. 6 に示す。なお, 同期間の原水 pH は 6.5~7.6, 水温は約 17°C であり, 9 月 9 日には激しい降雨により, 原水濁度が大きく上昇している。フロク粒径は, 原水濁度の上昇に伴い大きくなったが, 同日の 22 時から急激に下降し, 23 時には 22 時のフロク粒径に比べて, 50% 以下にまで低下した。一方, 沈澱水濁度の値は同時刻, 徐々に上がっていたが, 1 度を超えたのは翌日の 9 月 10 日 6 時であった。このことは, フロク粒径の急変を監視すれば, 沈澱水濁度監視よりも約 7 時間早く凝集不良を検知できることを示している。沈澱水濁度はその後最大 9 度まで上昇したが, Fig. 7 のグラフに示すように, ろ過水濁度は最大でも 0.06 度に抑制されており, その後は 0.01 度を上回らず, 良好に保つことができていた。これは沈澱水濁度上昇後に緊急的に実施された二段凝集の効果と考えられる。

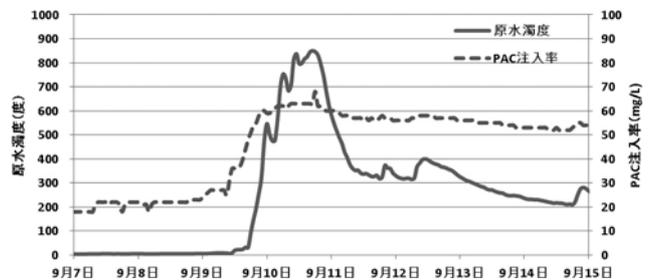


Fig. 5 Turbidity of raw water and coagulant dosage

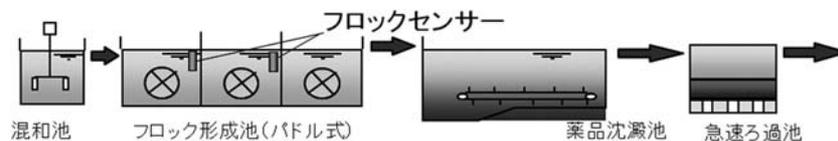


Fig. 4 The processing flow of water purification

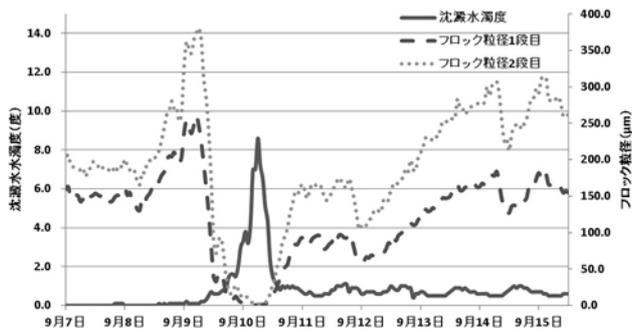


Fig. 6 Turbidity of settled water and floc size

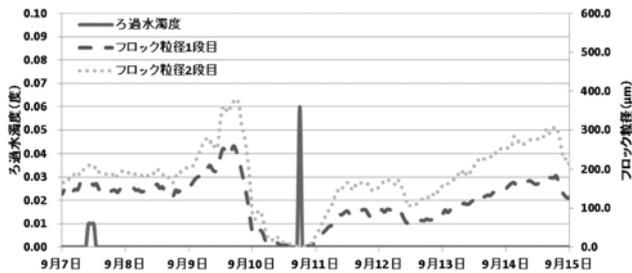


Fig. 7 Turbidity of filtered water and floc size

5. 終わりに

実験プラントにて行った結果から、フロック形成池の1段階目と2段階目のフロック粒径、及びその粒径比を測定することで、凝集不良の早期検知が可能であることが明らかになった。さらに、実施設における高濁度時の実証結果からフロック粒径の測定値の変化を連続的に観察することで、沈澱処理水濁度よりも早期に凝集不良を検知することができた。

浄水場における凝集不良の原因には、凝集剤の注入不足や pH、アルカリ度の不適正、薬注機器の故障、配管の目詰まり等に加え、凝集阻害物質の急増といった様々な要因が考えられる。フロックセンサにより早期に異常の可能性を把握できればそれらの原因究明をするための時間的余裕が生まれ、結果的に早期に処置が取れるようになる。以上より、本監視システムは運転維持管理において、安全な水の供給に役立てうるものと考えられる。

参考文献

- 1) 水道技術研究センター：全国の浄水場数及び計画浄水量——平成 24 年度水道統計に基づく試算結果——（その 1）、JWRC 水道ホットニュース、Vol. 450（2015）
- 2) 松井佳彦他：2 波長の吸光度変動を用いた有機着色成分の凝集沈澱除去の計測、水道協会雑誌、Vol. 679, pp. 2-9（1991）